DOI:10.13193/j.issn.1673-7717.2026.05.017

基于色度与黏度变化的九蒸九制地黄内在质量的相关性分析及炮制终点研究

于兰兰[1,2],位玉蝶[1,2],李蒙恩[1,2],闫红敏[1,2],陈天朝[3]
(1.河南省直第三人民医院,河南 郑州 450007;2.河南省中药高活性药物开发与临床应用研究工程技术研究中心,河南 郑州 450007;3.河南中医药大学第一附属医院,河南 郑州 450003)

摘要:目的 以九蒸九制地黄为研究对象,探究九蒸九制地黄炮制过程中色度、黏度的动态变化规律及与内在质量的相关性,并通过建立品质综合指数(QI)探究其最佳炮制终点,为九蒸九制地黄的质量控制和炮制终点判断提供参考。方法 采用薄层成像仪及MATLAB、黏度计对九蒸九制地黄样品色度、黏度进行客观量化,紫外分光光度法测定多糖含量,HPLC法测定地黄苷D、毛蕊花糖苷、异毛蕊花糖苷、益母草苷、5-羟甲基糠醛(5-HMF)含量,运用SPSS 26.0、SIMCA软件对结果进行多元统计分析,分析色度、黏度与其内在化学成分的相关性及变化规律,再采用三角形面积法建立九蒸九制地黄的QI,以推测其最佳炮制终点。结果 地黄九蒸九制过程中,炮制品颜色变黑,黏度升高;色度、黏度与不同炮制程度之间存在相关性,表明色度和黏度可作为炮制终点的评价指标;饮片色度与粉末色度之间存在相关性,一蒸或二蒸可能是地黄颜色变化的主要阶段;色度、黏度与内在化学成分之间存在相关性,可建立较好回归模型,并通过测定色度值I、黏度在一定程度上客观预测其炮制过程中化学成分的含量变化,内在化学成分的主成分分析表明,一蒸到四蒸可能是地黄化学成分含量变化的主要阶段;品质综合指数QI值七蒸七制时最大,推测七蒸七制可能为地黄最佳炮制终点。结论 基于色度、黏度可实现九蒸九制地黄颜色与外观质地的客观量化,分析其与成分含量的相关性并建立回归模型,在一定程度上可客观预测其炮制过程中的内在化学成分含量变化,综合品质指数QI的建立可预测地黄九蒸九制的最佳炮制终点,为九蒸九制地黄炮制过程的质量控制和炮制终点判定提供参考。

关键词:地黄;九蒸九制;色度;黏度;相关性分析;炮制终点;化学成分
中图分类号:R284.1 **文献标志码**:A **文章编号**:1673-7717(2026)05-0081-09

Correlation Analysis of Internal and External Quality of Nine Times Steamed and Processed Dihuang (Rehmanniae Radix) Based on Changes of Chroma and Viscosity and Study of Processing Endpoint

YU Lanlan[1,2], WEI Yudie[1,2], LI Meng'en[1,2], YAN Hongmin[1,2], CHEN Tianchao[3]
(1. The Third People's Hospital of Henan Province, Zhengzhou 450007, Henan, China;
2. Engineering Technology Research Center for the Development and Clinical Application of Highly Active Traditional Chinese Medicine Drugs in Henan Province, Zhengzhou 450000, Henan, China;
3. The First Affiliated Hospital of Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450003, Henan, China)

Abstract: *Objective* To investigate the dynamic change of chroma and viscosity during the nine times steamed and processed Dihuang (Rehmanniae Radix) and the correlation with its intrinsic quality, and to explore the optimal processing end point by establishing a comprehensive quality index (QI), so as to provide reference for the quality control and processing end point judgment of Dihuang (Rehmanniae Radix). *Methods* The chroma and viscosity of Dihuang (Rehmanniae Radix) samples were quantified objectively by thin layer imager, MATLAB and viscometer. The polysaccharide content was determined by ultraviolet spectrophotometry, and the contents of Rehmannium D, veronin, iso-veronin, motheronin and 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) were determined by high performance liquid chromatography (HPLC). SPSS 26.0 and SIMCA software were used to conduct multivariate statistical analysis of the results, and the correlation and change rule of chroma, viscosity and their internal chemical composition were analyzed. Then, the QI of nine times steamed and processed Dihuang (Rehmanniae Radix) was established by triangle area method to predict the optimal processing end point. *Results* During the process of steaming process of nine times steamed and processed Dihuang (Rehmanniae Radix), the color of the prepared product turned black and the viscosity increased. There were correlations between chroma and viscosity and different processing degrees, indicating that chroma and viscosity could be used as the evaluation indexes for processing end points. There was a correlation between the color of decoction pieces and the color of

基金项目:国家中医药管理局中医药部门公共卫生服务补助资金项目(国中医规财发〔2015〕21号);河南省中医药科学研究专项(2023Y2058);河南省重点研发与推广专项(科技发展计划)(212102311101)
作者简介:于兰兰(1991-),女,河南许昌人,主管药师,硕士,研究方向:中药炮制及中药新剂型。
通讯作者:闫红敏(1970-),女,河南濮阳人,主任药师,学士,研究方向:中药学、药食同源中药产品开发与质量控制。E-mail:603364531@qq.com。
陈天朝(1962-),男,河南焦作人,主任药师,硕士研究生导师,学士,研究方向:中药炮制与中药学。E-mail:ctc661111@163.com。

powder, and the first or second steaming may be the main stage of the color change of Dihuang (Rehmanniae Radix). The correlation between chroma, viscosity and intrinsic chemical composition can be established, and a better regression model can be established, and the change of chemical composition content in the processing process can be objectively predicted by measuring chroma value I and viscosity to a certain extent. The principal component analysis of intrinsic chemical composition showed that the first to fourth steaming may be the main stage of the change of chemical composition content of Dihuang (Rehmanniae Radix). The quality index QI value was the highest when the seven - steaming system was used, which suggested that the seven - steaming system might be the best processing end point of Dihuang (Rehmanniae Radix). *Conclusion* The color and appearance of Dihuang (Rehmanniae Radix) can be quantified objectively based on chroma and viscosity, and the correlation between them and component content is analyzed and a regression model is established, which can objectively predict the changes of internal chemical component content in the processing of Dihuang (Rehmanniae Radix) to a certain extent. The establishment of comprehensive quality index QI can predict the optimal processing endpoint. It provided reference for the quality control and processing end point determination of Dihuang (Rehmanniae Radix) processing process.

Keywords: Dihuang (Rehmanniae Radix); nine times steaming and processing; chroma; viscosity; correlation analysis; processing end point; chemical composition

地黄为玄参科植物地黄 *Rehmannia glutinosa Libosch.* 的新鲜或干燥块根，药用形式包括鲜、生、熟3种[1]。鲜地黄经缓慢烘焙至八成干时变为生地黄，药性由大寒转寒，功效由止血转凉血。熟地黄是将生地黄进一步加工炮制后所得，药性由寒转温，味道由苦转甜，功能由清转补[2]。在地黄的古法炮制中，多以“反复蒸晒”“色黑如漆”“味甘如饴”等感官指标对熟地黄的品质进行控制，并沿用至今[3]。《中华人民共和国药典》2020年版对熟地黄描述为“表面乌黑色，有光泽，黏性大。质柔软而带韧性，不易折断，断面乌黑色，有光泽。气微，味甜”[4]。在实际炮制过程中，对熟地黄炮制终点的判断，一般基于感官经验，即手摸、目测、品尝等直观感受，无法明确炮制标准[3]。这种传统经验评价方式主观性较高，对于地黄外观性状的渐变过程并不敏感，容易造成炮制“不及”或“太过”，无法准确把握炮制终点[5]。

明代陈嘉谟在《本草蒙筌》中指出“制药贵在适中，不及则功效难求，太过则气味反失”[6]。关于九蒸九制中“九”的具体含义有的指“九次”，有的泛指“多次”[7]。汉代的《金匮要略方论》提出“蒸之如斗米饭久”[8]，提示早期熟地黄的蒸制时间较短。《千金翼方》中曾记载“……熟蒸三五遍”，这一记载说明地黄的蒸制可能不必要蒸至九次[3]。本实验采用薄层成像仪及MATLAB建立地黄HSI颜色模型，采用黏度计测定地黄黏度，将九蒸九制地黄外观性状中的颜色、黏性进行客观化的数字表达，量化炮制终点判断标准，并通过统计学的方法分析九蒸九制地黄色度、黏度与内在质量的相关性，建立品质综合评价指数，揭示地黄九蒸九制的炮制规律，以期为地黄九蒸九制的炮制过程质量控制和炮制终点判定提供科学依据。

1 仪器与材料

1.1 仪器

1260 Agilent高效液相色谱仪，美国Agilent科技有限公司；Thermo Evolution 201紫外可见光分光光度计，美国赛默飞公司；TLC VISUALIZER2型薄层成像仪，瑞士卡玛公司；BSA224S - CW电子天平，德国赛多利斯公司；DT - 300电子天平，上海医用激光仪器厂常熟分厂；NDJ - 8S数显黏度计，深圳秒准科学仪器有限公司；DHG - 9146A电热鼓风干燥箱，上海跃进医疗器械厂；FW - 600高速万能粉碎机，北京科伟永兴仪器有限公司；不锈钢蒸锅，扬州伟源电器有限公司；陶瓷炖罐，兴兴家居餐具；Hk250科导台式超声波清洗器，上海科导超声仪器有限公司；HH - 6数显恒温水浴锅，常州普天仪器制造有限公司；JW - 2018H高速离心机，安徽嘉文仪器装备有限公司。

1.2 材料

生地黄（批号：221227，产于河南焦作，购于河南中一医药经营有限公司，经河南中医药大学第一附属医院陈天朝主任药师鉴定为玄参科植物地黄 Rehmannia glutinosa Libosch. 的干燥块根）；黄酒（批号：210922，产于浙江绍兴，购于河南中一医药经营有限公司）；D（+）- 无水葡萄糖对照品（批号：S22J12H137237）、地黄苷D对照品（批号：J02GB153517）、毛蕊花糖苷对照品（批号：Y22O11H128460）、异毛蕊花糖苷对照品（批号：Y23D7H27551）、益母草苷对照品（批号：J11GB154353）、5 - 羟甲基糠醛对照品（批号：R13M10G88090），纯度均≥98 %，上海源叶生物科技有限公司；蒽酮（批号：220311，上海蓝季生物有限公司）；苯酚（批号：20230222，天津福晨化学试剂有限公司）；无水乙醇（分析纯，天津永大化学试剂有限公司）；浓硫酸（分析纯，郑州派尼化学试剂厂）；乙腈、甲醇（色谱纯，德国默克股份有限公司）；磷酸（批号：1107215，北京迪马科技公司）。

2 方法与结果

2.1 九蒸九制地黄炮制品的制备

称取生地黄饮片2 kg，加入680 g（34%）黄酒，搅拌均匀，置于陶瓷炖罐内闷润8 h，时时翻动，闷润结束后置于不锈钢蒸锅内进行隔水蒸制，蒸制7 h后，取出，在干燥温度固定60 ℃下烘干4 h，取出，此为一蒸地黄，再按上述操作反复蒸晒8次，每一蒸留样200 g（100 g为饮片，另100 g粉碎，过四号筛，备用），即得不同蒸制次数的地黄样品（生品标记为DH0、炮制品按蒸制次数标记为DH1 ~ DH9）。

2.2 色度测定

称取适量地黄生品及不同蒸制次数炮制品饮片和粉末，逐一平铺于洁净且透明的培养皿上（注意粉末需要平铺均匀），将培养皿置于扫描仪内，盖上盖，选择采集模式为反射光照射，进行各样品图像采集，见插页XX图1。将采集的各样品图像导入MATLAB 2016软件，生成各自相对应的RGB（红绿蓝）图像，根据公式[9-10]转换为H、S、I数据，即色调、饱和度、亮度数据，RGB与HSI数据见表1。

经直观观察，生地黄为黄棕色，随着蒸制次数的增加，九蒸九制地黄颜色越来越深，最后变为黑色，符合“色黑如漆”的传统标准。颜色变黑的原因是糖类和氨基酸/蛋白质等物质在加

表 1 地黄生品及不同蒸制次数炮制品 RGB、HSI 数据

名称	饮片			粉末			饮片			粉末		
	R(红)	G(绿)	B(蓝)	R(红)	G(绿)	B(蓝)	H(色调)	S(饱和度)	I(亮度)	H(色调)	S(饱和度)	I(亮度)
DH0	64.333 3	49.533 3	51.033 3	104.300 0	65.533 3	39.166 7	6.191 0	0.098 8	54.966 7	0.414 1	0.437 8	69.666 7
DH1	29.333 3	33.166 7	48.300 0	50.133 3	19.066 7	17.600 0	3.996 5	0.205 8	36.933 3	0.039 9	0.391 7	28.933 3
DH2	27.366 7	32.433 3	48.433 3	33.400 0	11.566 7	13.433 3	3.956 3	0.241 5	36.077 8	6.206 0	0.405 8	19.466 7
DH3	23.666 7	29.833 3	45.300 0	26.500 0	8.200 0	11.700 0	3.908 5	0.281 4	32.933 3	6.102 0	0.469 8	15.466 7
DH4	23.366 7	29.766 7	44.200 0	15.833 3	7.366 7	11.600 0	3.884 2	0.279 8	32.444 4	5.759 6	0.364 9	11.600 0
DH5	14.333 3	22.133 3	40.100 0	15.600 0	6.233 3	11.366 7	3.889 2	0.438 4	25.522 2	5.704 2	0.436 7	11.066 7
DH6	21.366 7	27.200 0	40.733 3	10.600 0	4.066 7	13.000 0	3.890 8	0.282 2	29.766 7	4.973 4	0.559 0	9.222 2
DH7	14.833 3	19.966 7	41.533 3	10.833 3	3.633 3	7.300 0	4.006 6	0.417 0	25.444 4	5.748 9	0.499 2	7.255 6
DH8	14.300 0	18.900 0	38.066 7	9.833 3	4.033 3	7.966 7	4.005 3	0.398 0	23.755 6	5.556 7	0.445 8	7.277 8
DH9	16.200 0	20.466 7	36.600 0	7.033 3	1.700 0	3.966 7	3.989 2	0.336 7	24.422 2	5.846 0	0.598 4	4.233 3

热的条件下发生美拉德反应产生褐变和色素沉着,同时伴有香气产生[11]。

颜色量化后的色度值表明,地黄经过第 1 次蒸制后,无论是饮片还是粉末,整体颜色变化显著。九蒸九制炮制过程中,蒸制次数 1 ~9 的地黄饮片 H 值均接近 4,蒸制次数 2 ~9 的地黄粉末 H 值均接近 6,表明地黄九蒸九制过程中饮片与粉末的色调 H 值变化不大,但和生品 H 值相比有明显差异,即地黄生品和炮制品色调差别明显;地黄饮片和粉末的饱和度 S 值总体呈增加趋势,地黄饮片和粉末的亮度 I 值呈下降趋势,说明随着炮制程度的加深,地黄炮制品的颜色越来越黑;总体表明饮片、粉末色度值变化趋势一致,且生品与炮制品色度差异较大。

2.3 黏度测定

2.3.1 样品前处理 称取地黄生品及不同蒸制次数炮制品饮片各约 5.0 g,置 250 mL 锥形瓶中,加入纯化水 100 mL,振摇混合,浸泡 24 h,滤过,取滤液,滤液摇匀,即得。

2.3.2 黏度测定 首先打开数显黏度计,预热约 20 min,预热结束后选择 0 号转子进行测定,取 25 mL 待测样品溶液于 0 号转子外筒内,设定仪器量程为 10,转子于溶液中转 30 r,即可读数。平行测定 3 次,取平均值,测定结果见表 2。结果表明,地黄前两次蒸制黏度变化不明显,第 3 次蒸制起黏度值明显升高,且趋于稳定。

2.4 多糖含量测定[12]

2.4.1 对照品溶液的配制 精密称取无水葡萄糖对照品适量,将其放入 50 mL 容量瓶中,加纯水充分溶解后定容,再摇匀,制得浓度为 0.107 2 mg/mL 的对照品溶液。

2.4.2 供试品溶液的制备 精密称取不同蒸制次数的地黄样品粉末各 0.2 g,置锥形瓶中,加入 80% 乙醇 40 mL,超声提取 2 次,每次超声时间 60 min,弃去乙醇提取液,残渣挥干溶剂后,加入 40 mL 蒸馏水,超声 30 min,重复提取 2 次,过滤后将两次滤液合并在一起,将合并滤液转移至 100 mL 容量瓶内,用纯水定容,再摇匀,即得供试品溶液。

2.4.3 5% 苯酚试剂的配制 准确称取 5.0 g 苯酚于 100 mL 容量瓶(避光)中,加适量纯水使其充分溶解后,定容,混合均匀,即得(现用现配)。

2.4.4 标准曲线的制备 分别精密吸取对照品溶液 0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 于具塞试管中,分别加蒸馏水,补足至 2 mL,再加入 5 % 苯酚溶液 1 mL,振摇混匀,然后快速滴加 5 mL 浓硫酸溶液,置水浴(60 ℃)中加热 10 min,取出再放入冰水中,静置冷却 5 min。以相应试剂为空白对照,参照 2020 年版《中华人民共和国药典》四部(通则 0401)中的紫外 - 可见分光光度法,在 490 nm 波长处测定各样品吸光度值,以吸光度(A)作为纵坐标、葡萄糖浓度(mg/mL)作为横坐标,绘制标准曲线,得到标准曲线方程 $Y = 14.496X - 0.036\ 2$,$R^2 = 0.998\ 4$,表明无水葡萄糖在 0.010 72 ~ 0.053 60 mg/mL 的浓度范围内呈良好线性。

2.4.5 精密度考察 精密吸取同一对照品溶液,依据“2.4.4”项下显色方法操作处理,连续测定 6 次,依据测定的吸光度值计算 RSD 值为 0.27%,表明此仪器精密度良好。

2.4.6 稳定性考察 精密吸取同一供试品溶液,按照“2.4.4”项下显色方法操作处理,分别在室温放置 5、10、15、20、30 min,于不同时间点测定其吸光度值,依据吸光度值计算 RSD 值为 0.63 %,表明此供试品溶液 30 min 内具有良好的稳定性。

2.4.7 重复性考察 取同一供试品粉末,按照“2.4.2”项下方法,平行制备 6 份供试品溶液,按照“2.4.4”项下显色方法操作处理,测定其吸光度值,计算为 1.91%,表明此方法重复性良好。

2.4.8 加样回收率考察 精密称取同一供试品粉末 6 份,精密加入 14.00 mg/mL 的葡萄糖对照品溶液 1 mL,按照“2.4.2”项下方法平行制备供试品溶液,按照“2.4.4”项下显色方法操作处理,测定吸光度值,依据吸光度值计算平均加样回收率为 94.28% 及 RSD 值为 2.67%。

2.4.9 含量测定结果 精密吸取供试品溶液 1.0 mL,自“加蒸馏水补足至 2 mL”起,按照“2.4.4”项下显色方法操作处理,测定吸光度值,计算地黄中多糖的含量,结果见表 4。

2.5 地黄苷 D、毛蕊花糖苷、异毛蕊花糖苷、益母草苷、5 - HMF 含量测定

2.5.1 对照品溶液的配制[13] 精密称取地黄苷 D、益母草苷、5 - HMF、毛蕊花糖苷和异毛蕊花糖苷对照品适量,分别置于 10 mL 容量瓶中,加 50% 甲醇溶解并定容至刻度,配置成地黄苷 D、益母草苷、5 - HMF、毛蕊花糖苷和异毛蕊花糖苷浓度分别为 2、2、2、1.149、1.133 mg/mL 的对照品储备液,再取地黄

表 2 地黄生品及不同蒸制次数炮制品饮片黏度测定结果($n = 3$,$\bar{x} \pm s$)

	DH0	DH1	DH2	DH3	DH4	DH5	DH6	DH7	DH8	DH9
黏度/(mPa·s)	1.04 ± 0.008	1.06 ± 0.019	1.06 ± 0.005	1.35 ± 0.008	1.29 ± 0.012	1.36 ± 0.017	1.33 ± 0.005	1.39 ± 0.012	1.4 ± 0.008	1.42 ± 0.009

苷 D、益母草苷、5 - HMF、毛蕊花糖苷和异毛蕊花糖苷储备液各 1 mL，地黄苷 D、益母草苷分别置于 10 mL 容量瓶中，5 - HMF 置于 5 mL 容量瓶中，毛蕊花糖苷和异毛蕊花糖苷置于同一 5 mL 容量瓶中，分别加 50% 甲醇混匀并定容至刻度，得浓度分别为 0.2、0.4、0.4 mg/mL 的地黄苷 D、益母草苷、5 - HMF 对照品溶液和浓度为 0.229 8、0.226 6 mg/mL 的毛蕊花糖苷、异毛蕊花糖苷混合对照品溶液。

2.5.2 供试品溶液的制备 精密称取不同蒸制次数的地黄样品粉末各 1.0 g(5 - HMF 供试品溶液制备时称取 2.0 g)，置具塞锥形瓶中，加入 50% 甲醇 25 mL，称定重量，超声提取 1 h，冷却至室温，再次称重，用 50% 甲醇补足失重，摇匀，用 0.45 μm 微孔滤膜滤过，取续滤液，即得。

2.5.3 色谱条件 见表 3、图 2。

2.5.4 线性关系考察 精密吸取地黄苷 D 对照品储备液适量、毛蕊花糖苷和异毛蕊花糖苷混合对照品溶液适量、益母草苷储备液适量、5 - HMF 对照品溶液适量，分别加 50% 甲醇配制成一系列浓度的标准溶液，按照“2.5.3”项下色谱条件进行测定，以对照品浓度为横坐标，以峰面积为纵坐标，得地黄苷 D 标准曲线方程 Y = 5 201.5X + 3.835 2，R^2 = 0.999 2，线性范围 0.08 ~ 2.00 mg/mL；毛蕊花糖苷标准曲线方程 Y = 14.802X - 14.963，R^2 = 0.999 5，线性范围 9.192 ~ 40.215 μg/mL；异毛蕊花糖苷标准曲线方程 Y = 16.369X - 0.285 7，R^2 = 0.999 7，线性范围 2.266 ~ 5.665 μg/mL；益母草苷标准曲线方程 Y = 11 910X - 7.567 6，R^2 = 0.999 8，线性范围 0.014 ~ 0.400 mg/mL；5 - HMF 标准曲线方程 Y = 36 284X - 20.809，R^2 = 1，线性范围 0.016 ~ 2.000 mg/mL。

2.5.5 精密度考察 精密吸取同一对照品溶液，按照“2.5.3”项下色谱条件进行测定，连续测定 6 次，记录峰面积，计算地黄苷 D、毛蕊花糖苷、异毛蕊花糖苷、益母草苷、5 - HMF 的 RSD 值分别为 0.88%、0.61%、0.66%、1.96%、0.13%，表明此仪器精密度良好。

2.5.6 稳定性考察 精密吸取同一供试品溶液，分别于 0 h、2 h、4 h、8 h、12 h、24 h 不同时间点下，按照“2.5.3”项下色谱条件进行测定，记录峰面积，计算地黄苷 D、毛蕊花糖苷、异毛蕊花糖苷、益母草苷、5 - HMF 的 RSD 值分别为 1.79%、0.64%、0.55%、2.75%、1.13%，表明供试品溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.5.7 重复性考察 取同一供试品粉末，按照“2.5.2”项下方法，平行制备供试品溶液 6 份，按照“2.5.3”项下色谱条件进行测定，记录峰面积，计算地黄苷 D、毛蕊花糖苷、异毛蕊花糖苷、益母草苷、5 - HMF 的 RSD 分别为 1.65%、0.47%、2.90%、2.37%、1.17%，表明此方法重复性良好。

2.5.8 加样回收率考察 精密称取同一供试品粉末共 6 份，每份 0.5 g，精密加入地黄苷 D 对照品溶液(4.00 mg/mL)1 mL、毛蕊花糖苷对照品溶液(0.287 3 mg/mL)1 mL、异毛蕊花糖苷对照品溶液(0.033 9 mg/mL)1 mL、益母草苷对照品溶液(1.221 0 mg/mL)1 m、5 - HMF 对照品溶液(1.492 0 mg/mL)1 mL，按照“2.5.2”项下方法制备供试品溶液，按照“2.5.3”项下色谱条件进行测定，记录峰面积，计算地黄苷 D、毛蕊花糖苷、异毛蕊花糖苷、益母草苷、5 - HMF 的平均加样回收率分别为 97.06%、105.54%、97.16%、103.96%、94.15%，RSD 值分别为 2.47%、2.35%、2.84%、2.04%、2.82%，表明此方法具有可行性。

2.5.9 含量测定 精密称定地黄各样品粉末 1.0 g，按照“2.5.2”项下方法制备供试品溶液，按照“2.5.3”项下色谱条件进行测定，记录峰面积，计算含量，结果见表 4。

地黄九蒸九制过程中，多糖含量随着蒸制次数的增加呈升高趋势，蒸制次数为 7 时含量最高；地黄苷 D 的含量呈先降低后升高的趋势，从第 6 次蒸制时，随着蒸制次数的增加，含量变化波动变缓；毛蕊花糖苷生品含量最高，随着蒸制次数的增加总体上呈逐渐降低趋势，可能与炮制过程中毛蕊花糖苷受热发生水解有关[14-15]；异毛蕊花糖苷含量变化波动较小，含量差异不明显。益母草苷生品含量最高，随着蒸制次数的增加总体上呈降低趋势，蒸制次数为 1 时变化速率最快，蒸制次数8 ~ 9 时变化趋于稳定；5 - HMF 含量呈现升高趋势，总体增加速率较缓，蒸制次数为 9 时含量最高，5 - HMF 含量的增加与炮制过程中发生 Maillard 反应有关[1]。

2.6 多元统计分析

2.6.1 色度、黏度与不同炮制程度间的相关性分析 使用 SPSS 26.0 软件对饮片和粉末的 H、S、I 值、黏度值进行相关性分析，具体见表 5，结果显示不同炮制程度与饮片 S、饮片 I、粉末 H、粉末 S、粉末 I、黏度呈显著相关性，表明色度和黏度可作为炮制终点的评价指标。

2.6.2 饮片 - 粉末间色度的相关性分析 使用 SPSS 26.0 软件对饮片 - 粉末的色度进行相关性分析，具体见表 6，结果显示饮片 H 与饮片 I、粉末 I 呈极显著正相关，与饮片 S、粉末 H 呈显著负相关；饮片 S 与饮片 I、粉末 I 呈极显著负相关，与粉末 H 呈显著正相关；饮片 I 与粉末 I 呈极显著正相关，与粉末 H 呈显著负相关；粉末 H 与粉末 I 呈极显著负相关；即饮片色度与粉末色度之间具有相关性。

2.6.3 色度、黏度与内在质量的相关性分析及回归模型的建立 使用SPSS 26.0软件对饮片色度、黏度和多糖含量、地黄

表 3 地黄苷 D、毛蕊花糖苷、异毛蕊花糖苷、益母草苷、5 - HMF 色谱条件

	色谱柱	流动相	检测波长/(nm)	柱温/(℃)	体积流量/(mL/min)	进样量/(μL)
地黄苷 D	Agilent 反相色谱柱 SB - C_{18}(5 μm，4.6 mm × 250 mm)	乙腈(A) - 0.1% 磷酸水(B)，梯度洗脱：0 ~ 10 min：1.5% A；10 ~ 20 min：1.5% A - 3% A；20 ~ 30 min：3% A - 15% A；30 ~ 32 min：15% A - 1% A；32 ~ 40 min：1% A	203	25	1.0	10
毛蕊花糖苷和异毛蕊花糖苷	Agilent 反相色谱柱 ZORBAX SB - Aq(5 μm，4.6 mm × 250 mm)	乙腈(A) - 水(B)，梯度洗脱：0 ~ 45 min：2% A - 65% A；45 ~ 50 min：65% A - 2% A	334	35	1.0	20
益母草苷	Agilent 反相色谱柱 ZORBAX SB - Aq(5 μm，4.6 mm × 250 mm)	乙腈(A) - 水(B)，梯度洗脱：0 ~ 45 min：2% A - 65% A；45 ~ 50 min：65% A - 2% A	203	35	1.0	20
5 - HMF	Agilent 反相色谱柱 SB - C_{18}(5 μm，4.6 mm × 250 mm)	甲醇 - 水(5∶95)	284	30	1.0	5

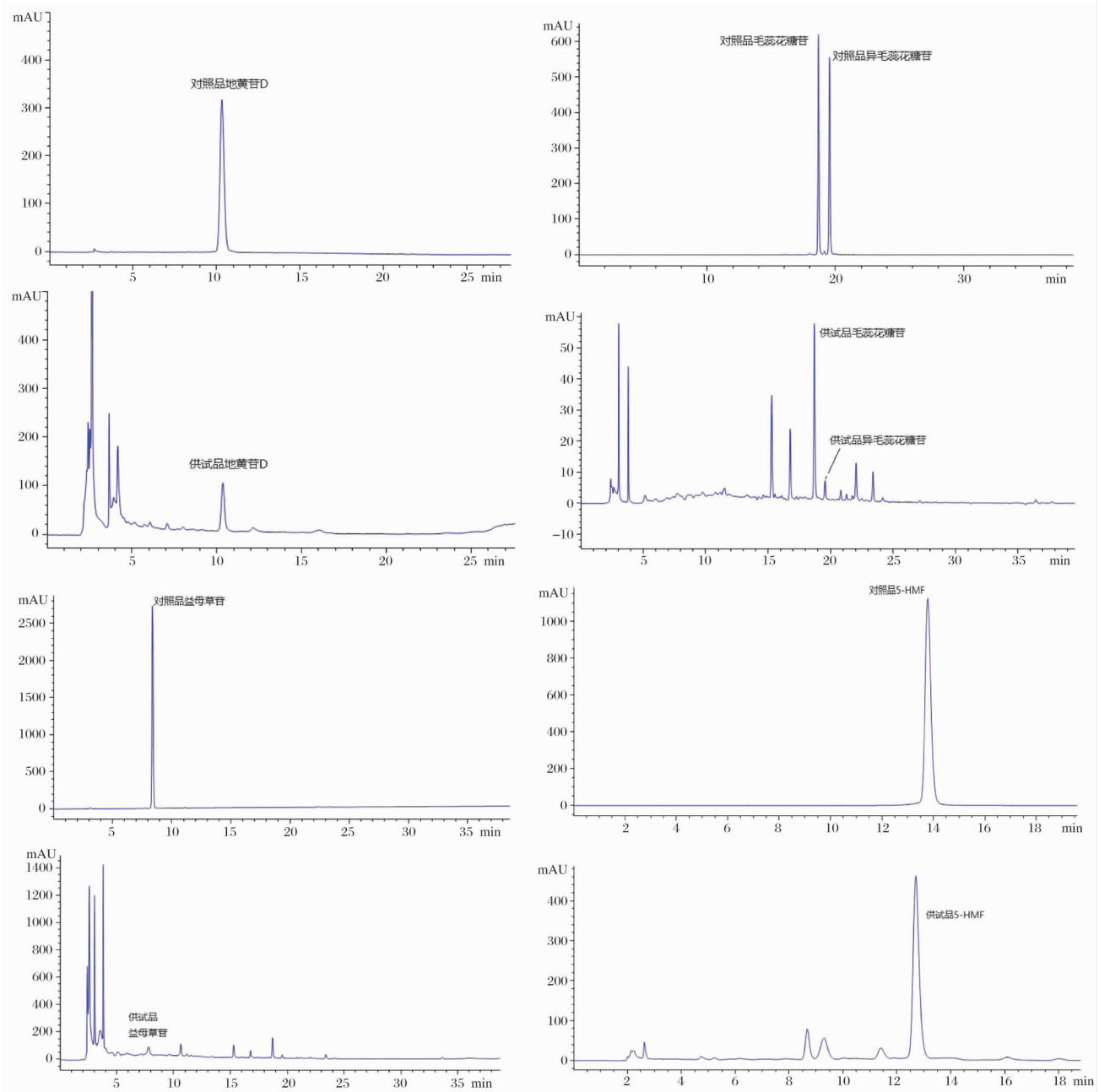


图 2 地黄苷 D、毛蕊花糖苷、异毛蕊花糖苷、益母草苷、5－HMF 对照品及供试品色谱图

表 4 地黄生品及不同蒸制次数炮制品多糖、地黄苷 D、毛蕊花糖苷、异毛蕊花糖苷、益母草苷、5－HMF 的含量测定结果

单位：mg/g

名称	多糖	地黄苷 D	毛蕊花糖苷	异毛蕊花糖苷	益母草苷	5－HMF
DH0	16.11	1.573 6	0.565 7	0.067 6	2.201 0	0.009 3
DH1	21.17	1.063 2	0.479 2	0.076 5	1.251 2	0.134 2
DH2	28.40	1.879 6	0.548 5	0.104 2	1.634 6	0.213 5
DH3	27.29	1.666 7	0.450 3	0.094 2	1.599 6	0.530 9
DH4	38.07	4.388 6	0.416 1	0.100 6	1.077 0	1.333 3
DH5	31.52	5.066 2	0.311 2	0.071 2	0.997 5	2.009 8
DH6	30.90	5.730 5	0.353 5	0.078 3	0.550 3	2.297 5
DH7	46.60	5.931 3	0.327 1	0.071 7	0.501 2	2.350 2
DH8	44.08	6.108 9	0.316 0	0.073 1	0.358 7	2.477 2
DH9	38.86	6.594 3	0.292 1	0.067 5	0.362 2	2.905 2

表 5 色度、黏度与不同炮制程度间的相关性分析

指标	饮片 H	饮片 S	饮片 I	粉末 H	粉末 S	粉末 I	黏度
炮制终点	－0.504	0.797 * *	－0.858 * *	0.639 *	0.658 *	－0.777 * *	0.889 * *

注：* * $P<0.01$ 水平显著相关；* $P<0.05$ 水平显著相关。

表 6 地黄饮片－粉末间色度的相关性分析

指标	饮片 H	饮片 S	饮片 I	粉末 H	粉末 S	粉末 I
饮片 H	1	－0.664 *	0.846 * *	－0.647 *	－0.1	0.928 * *
饮片 S	－0.664 *	1	－0.921 * *	0.703 *	0.278	－0.822 * *
饮片 I	0.846 * *	－0.921 * *	1	－0.725 *	－0.383	0.963 * *
粉末 H	－0.647 *	0.703 *	－0.725 *	1	0.282	－0.795 * *
粉末 S	－0.1	0.278	－0.383	0.282	1	－0.334
粉末 I	0.928 * *	－0.822 * *	0.963 * *	－0.795 * *	－0.334	1

注：* * $P<0.01$ 水平显著相关；* $P<0.05$ 水平显著相关。

苷 D 含量、毛蕊花糖苷含量、异毛蕊花糖苷含量、益母草苷含量、5－HMF 含量进行相关性分析，结果见表 7，结果显示多糖含量与饮片 S、黏度呈极显著正相关，与粉末 H 呈显著正相关，与饮片 I、粉末 I 呈极显著负相关；地黄苷 D 与饮片 S 呈显著正相关，与饮片 I、粉末 I 呈显著负相关，与黏度呈极显著正相关；毛蕊花糖苷含量、益母草苷含量均与饮片 S、黏度呈极显著负相关，与饮片 I、粉末 I 呈极显著正相关；5－HMF 含量与饮片 S、黏度呈极显著正相关，与饮片 I 呈极显著负相关，与粉末 S 呈显著正相关，与粉末 I 呈显著负相关。

表 7 色度、黏度与内在质量的相关性分析

指标	多糖含量	地黄苷 D 含量	毛蕊花糖苷含量	异毛蕊花糖苷含量	益母草苷含量	五羟甲基糠醛含量
饮片 H	－0.565	－0.380	0.547	－0.355	0.624	－0.437
饮片 S	0.824**	0.760*	－0.873**	－0.197	－0.770**	0.791**
饮片 I	－0.830**	－0.764*	0.883**	0.073	0.882**	－0.815**
粉末 H	0.711*	0.567	－0.532	0.375	－0.480	0.564
粉末 S	0.298	0.592	－0.559	－0.496	－0.541	0.657*
粉末 I	－0.791**	－0.674*	0.769**	－0.166	0.812**	－0.717*
黏度	0.793**	0.831**	－0.914**	－0.240	－0.784**	0.875**

注：**$P<0.01$ 水平显著相关；*$P<0.05$ 水平显著相关。

依据地黄生品及不同蒸制次数炮制品色度、黏度与内在质量的相关性，以单个化学成分为因变量，以色度、黏度为自变量，利用 SPSS 26.0 软件进行逐步回归分析，选择逐步 stepwise 法，筛选显著自变量，构建色度、黏度与内在质量的回归模型，具体结果见表 8。经逐步回归分析，九蒸九制过程中黏度、饮片色度值 I 对地黄内在质量产生显著影响，表明可通过地黄饮片的色度值 I 快速预测多糖含量、益母草苷含量，通过地黄黏度快速预测地黄苷 D 含量、毛蕊花糖苷含量和 5－HMF 含量。

表 8 色度、黏度与内在质量的回归模型

回归模型	R	R^2	调整 R^2	F 值	P 值
$Y_{(多糖)}=60.124-0.863X_{(饮片I)}$	0.830	0.689	0.650	17.728	0.003
$Y_{(地黄苷D)}=-11.092+11.884X_{(饮片黏度)}$	0.831	0.691	0.652	17.854	0.003
$Y_{(毛蕊花糖苷)}=1.169-0.601X_{(饮片黏度)}$	0.914	0.835	0.814	40.444	0.000
$Y_{(益母草苷)}=-0.849+0.059X_{(饮片I)}$	0.882	0.778	0.750	27.959	0.001
$Y_{(5-HMF)}=-6.623+6.338X_{(饮片黏度)}$	0.875	0.765	0.736	26.070	0.001

2.6.4 饮片与粉末色度的 PCA 分析 将九蒸九制炮制过程中地黄样品的饮片与粉末 H、S、I 数据导入 SIMCA14.1 软件进行无监督的主成分分析（PCA），观察不同蒸制次数的地黄样品间的自然聚集情况，见插页ⅩⅫ图 3。地黄饮片颜色 PCA 结果显示 PC1 和 PC2 的贡献率分别为 87.5% 和 11.4%，累积贡献率为 98.9%；地黄粉末颜色 PCA 结果显示 PC1 和 PC2 的贡献率分别为 66.2% 和 27.0%，累积贡献率为 93.2%，不同蒸制次数的地黄样品各自聚集。地黄饮片、粉末色度随着蒸晒次数的增加，沿着 t[1]轴一直有逐渐变化的趋势。饮片一蒸到二蒸、三蒸到九蒸，粉末一蒸，二蒸到九蒸各参数沿 t[2]轴明显分开，说明在地黄饮片及粉末的色度方面存在差异，有一定的变化规律，一蒸或二蒸可能是地黄颜色变化的主要阶段。

2.6.5 九蒸九制地黄内在化学成分的 PCA 分析 将九蒸九制炮制过程中地黄样品的内在化学成分含量测定数据导入 SIMCA14.1 软件进行 PCA 分析，观察不同蒸制次数的地黄样品间的自然聚集情况，见插页ⅩⅫ图 4。地黄样品成分含量 PCA 结果显示 PC1 和 PC2 的贡献率分别为 78.5% 和 16.0%，累积贡献率为 94.5%，不同蒸制次数的地黄样品各自聚集。地黄化学成分含量随着蒸晒次数的增加，沿着 t[1]轴一直有逐渐变化的趋势。饮片一蒸到四蒸、五蒸到九蒸各参数沿 t[2]轴明显分开，说明在地黄内在化学成分含量方面存在差异，有一定的变化规律，一蒸到四蒸可能是地黄化学成分含量变化的主要阶段。

2.6.6 九蒸九制地黄炮制过程 QI 的建立 参考文献[5,10,16]，采用三角形面积法，分别从色度值（AQ）、黏度值（BQ）、内在质量（CQ）3 个方面建立九蒸九制地黄不同样品的品质综合指数（QI），其中地黄饮片色度与化学成分的相关性更为显著，$AQ=H_{饮片}/H_{饮片max}+S_{饮片}/S_{饮片max}+I_{饮片}/I_{饮片max}$，$BQ=BQ_a/BQ_{amax}$，式中 BQ_a 代表九蒸九制地黄不同样品中的黏度，BQ_{amax} 代表黏度的最大值，$CQ=CQ_a/CQ_{amax}+CQ_b/CQ_{b\,max}+CQ_c/CQ_{c\,max}+CQ_d/CQ_{d\,max}+CQ_e/CQ_{e\,max}+CQ_f/CQ_{f\,max}$，式中 CQ_a、CQ_b、CQ_c、CQ_d、CQ_e、CQ_f 分别代表九蒸九制地黄不同样品中多糖、地黄苷 D、毛蕊花糖苷、异毛蕊花糖苷、益母草苷、5－HMF 的含量，$CQ_{a\,max}$、$CQ_{b\,max}$、$CQ_{c\,max}$、$CQ_{d\,max}$、$CQ_{e\,max}$、$CQ_{f\,max}$ 代表该成分含量的最大值。将每方面数据进行归一化处理，消除量纲为 $AQ=AQ_i/AQ_{max}$，$BQ=BQ_i/BQ_{max}$，$CQ=CQ_i/CQ_{max}$，再进行集成处理，计算公式为 $a=(AQ^2+BQ^2)^{1/2}$，$b=(AQ^2+CQ^2)^{1/2}$，$c=(BQ^2+CQ^2)^{1/2}$，$p=(a+b+c)/2$，$S_{样i}=[p(p-a)(p-b)(p-c)]^{1/2}$，$QI=S_{样i}/0.866$，式中 a、b、c 为三角形的三边，p 为三边长度的平均数，$S_{样i}$ 为炮制过程样品三角形面积，参数 0.866 为各维度为 1 时最大的三角形面积。九蒸九制地黄不同蒸制次数样品的 QI 值结果见表 9，结果显示 DH7 即七蒸七制样品 QI 值最大，由 QI 值结果推测七蒸七制可能为最佳炮制终点。

表 9 九蒸九制地黄不同蒸制次数样品的 QI 值结果

样品名称	AQ	BQ	CQ	$S_{样i}$	QI
DH0	1.000 2	0.732 4	0.770 1	0.601 6	0.694 7
DH1	0.803 1	0.746 5	0.669 0	0.473 7	0.547 0
DH2	0.829 8	0.746 5	0.875 7	0.578 6	0.668 1
DH3	0.841 5	0.950 7	0.820 4	0.656 7	0.758 3
DH4	0.834 1	0.908 5	0.983 2	0.714 9	0.825 5
DH5	0.940 5	0.957 7	0.909 7	0.758 7	0.876 1
DH6	0.815 1	0.936 7	0.939 8	0.697 2	0.805 1
DH7	0.926 4	0.978 9	1.000 0	0.812 2	0.937 9
DH8	0.893 0	0.986 0	0.987 1	0.790 4	0.912 8
DH9	0.834 5	1.000 0	0.990 5	0.768 2	0.887 1

3 讨论

3.1 九蒸九制地黄质量评价指标的选择

地黄中含有多种活性成分，如环烯醚萜类、紫罗兰酮类和苯乙醇类，以及三萜类、黄酮类等化合物，对人体血液系统、心脑血管系统、中枢神经系统和免疫系统有显著作用[17]。其中环烯醚萜苷类的地黄苷 D 成分是 2020 年版《中华人民共和国药典》熟地黄项下规定的含量测定指标，具有补阴、养血及降血糖的作用[18]。而中药具有作用整体性、成分多样性、靶点复杂性的特点，仅用单一成分代表中药质量过于片面，为提高中药质量评价的准确性，综合化、多元化的选取评价指标十分重要[19]。目前有关地黄或熟地黄的研究多侧重于极性较低的化学成分（如梓醇、毛蕊花糖苷、异毛蕊花糖苷等），而对极性较大的成分（如多糖）重视不够，然而，地黄或熟地黄常以水煎剂的形式入药，在汤剂中发挥药效的成分多为极性较大的水溶性成分[20-21]，因此本研究将药典规定的指标成分地黄苷 D，极性较低的化学成分毛蕊花糖苷、异毛蕊花糖苷、益母草苷，极性较大的化学成分多糖，以及九蒸九制过程中与美拉德反应有关的

5-HMF 共同作为评价指标,建立能体现其“整体质量”“生熟异标”的品质表征方法,为诠释地黄加工炮制的科学内涵提供评价手段,也为地黄不同炮制品专属性质量控制方法研究提供科学依据。

3.2 色度、黏度与内在质量的相关性分析

地黄九蒸九制过程中,生品与炮制品外观性状差异较大,但相邻蒸制次数间外观性状肉眼不易分辨,因此本研究采用薄层成像仪及黏度计客观量化熟地黄“表面乌黑色,有光泽,黏性大”的质量标准中所表征的色度与黏度。经测定,九蒸九制过程中地黄黏度总体呈现升高趋势,且不同蒸制次数的炮制品黏度均大于生品。色度值 H 表示色调,描述的是可见光中不同光被混合而成的颜色,如红、橙、黄、绿等的颜色变换;S 表示饱和度,描述颜色的深浅程度,饱和度越高,颜色越深;I 表示明亮程度,符合人眼对物体接受光照时的认知,其值越大,越明亮[22]。地黄经炮制后,与生品相比,饮片色调 H 值降低,粉末 H 值升高,但九蒸九制过程中饮片与粉末色调变化不明显,表明生品与炮制品的色调差异较大,不同蒸制次数的炮制品色调差异较小;地黄饮片和粉末的饱和度 S 呈波动性增高,明亮程度 I 值降低,表明随炮制程度的加深,九蒸九制地黄颜色越来越黑。相关性分析及 PCA 分析表明,色度和黏度可作为炮制终点的评价指标,饮片色度与粉末色度之间存在相关性,一蒸或二蒸可能是地黄颜色变化的主要阶段[23]。饮片的 S 值、I 值、粉末的 I 值及黏度与内在化学成分的相关性极显著,进一步构建的回归模型,P 值均小于 0.01,模型较好,表明在 68.9%、77.8% 的程度上可依据饮片 I 值分别预测多糖、益母草苷含量,在 69.1%、83.5%、76.5% 的程度上可依据饮片黏度分别预测地黄苷 D、毛蕊花糖苷、5-HMF 含量,即可依据外观性状中的黏度和色度,客观预测地黄九蒸九制过程中化学成分含量的变化具有可行性,内在化学成分的主成分分析表明,一蒸到四蒸可能是地黄化学成分含量变化的主要阶段[24]。

3.3 九蒸九制地黄炮制终点的量化及终点判定

本研究利用薄层成像仪及 MATLAB、黏度计为九蒸九制地黄炮制终点传统经验判断提供客观化的数据表达,打破以“反复蒸晒”“色黑如漆”等控制地黄饮片炮制终点的传统经验手段,实现地黄饮片炮制终点的智能化监控。在实际生产过程中,还需结合具体的炮制参数确定九蒸九制地黄炮制终点的色度及黏度范围,以期确定九蒸九制地黄达到药典规定的“表面乌黑色,有光泽,黏性大。质柔软而带韧性,不易折断”时颜色及黏度的数字化标准。另外,本研究还需对色度、黏度与药效的关系进行进一步的探索,以期为九蒸九制地黄质量评价提供更全面的数据支撑。

中药炮制贵在适中,《中华人民共和国药典》2020 版及现代研究关于九蒸九制的炮制次数依然没有定论,值得进一步地探究与探索。由张定堃、肖小河教授提出的品质综合指数(QI),实质内涵丰富,综合反映了中药的品质内涵,可用于中药材、中药饮片的内在质量评价[25]。本研究对九蒸九制地黄的色度、黏度及内在化学成分进行动态考察[26],并依据此 3 个方面,采用三角面积法建立品质综合指数(QI),综合评估九蒸九制地黄的品质,根据 QI 值推测七蒸七制可能为最佳炮制终点,为规范九蒸九制地黄的炮制工艺及质量评价提供了参考。

参考文献

[1] 李玉娇. 熟地黄“九蒸九曝”炮制工艺及其机理研究[D]. 济南:山东大学, 2023.
[2] LI M M, JIANG H J, HAO Y L, et al. A systematic review on botany, processing, application, phytochemistry and pharmacological action of Radix Rehmnniae [J]. J Ethnopharmacol, 2022, 285: 114820.
[3] 吕思霖. 基于性状、化学成分的地黄九蒸九晒炮制科学性研究[D]. 太原: 山西大学, 2021.
[4] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2020:130.
[5] 郑晓倩, 徐超, 金传山, 等. 基于颜色变化的“九蒸九晒”黄精炮制火候及内外在质量的相关性研究[J]. 中草药, 2022, 53(6): 1719-1729.
[6] 陈嘉谟. 本草蒙筌[M]. 陆拯,赵法新, 校点. 北京: 中国中医药出版社, 2013.
[7] 彭星星, 王德群, 彭华胜. 历代本草中“九蒸九晒”药材加工的沿革与变迁浅谈[J]. 皖西学院学报, 2018, 34(2): 92-99.
[8] 张仲景. 金匮要略[M]. 于志贤,张智基, 点校. 北京: 中医古籍出版社, 1997: 13.
[9] 马彦江, 姚超, 于兰兰, 等. 基于传统经验的九蒸地黄色度与指标成分相关性研究[J]. 时珍国医国药, 2023, 34(6): 1366-1370.
[10] 史可, 王春燕, 姚超, 等. 基于黏度和色度探究九蒸九晒何首乌外观与内在质量的关联性及炮制火候分析[J]. 时珍国医国药, 2023, 34(10): 2408-2411.
[11] MURATA M. Browning and pigmentation in food through the Maillard reaction[J]. Glycoconj J, 2021, 38(3): 283-292.
[12] 王清泉, 宋景, 李亚男, 等. 地黄多糖的提取纯化及药理作用研究进展[J]. 中草药, 2023, 54(11): 3734-3744.
[13] 李海松, 杜娟, 马彦江. 均匀设计法结合 AHP-熵权 TOPSIS 混合加权法优化地黄九蒸九制炮制工艺[J]. 医药论坛杂志, 2024, 45(12): 1305-1310.
[14] 于文娜, 张振凌, 张颖, 等. 地黄炮制过程中异毛蕊花糖苷含量的动态变化[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(18): 22-26.
[15] 单国顺, 赵启苗, 李睿, 等. 地黄炮制过程中毛蕊花糖苷含量动态研究[J]. 亚太传统医药, 2019, 15(3): 37-39.
[16] 张定堃, 王伽伯, 杨明, 等. 中药品质整合评控实践:附子品质综合指数[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(13): 2582-2588.
[17] 周丽. 基于整体观的地黄“九蒸九制”质/效评价研究[D]. 南京: 南京中医药大学, 2017.
[18] 徐雄飞, 王海燕, 何清. 熟地黄配方颗粒和标准汤剂中地黄苷 D 的含量测定[J]. 江西中医药大学学报, 2022, 34(4): 86-88, 94.
[19] 姜华, 高原, 杨景明, 等. 源于“整体观”思想的中药质量评价方法研究概述[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(6): 1027-1031.
[20] 周丽, 徐金娣, 毛茜, 等. 地黄加工炮制研究新进展及展望[J]. 中药材, 2016, 39(5): 1184-1190.
[21] 江云, 张超. 熟地黄炮制工艺及质量标准的探讨[J]. 中药与临床, 2017, 8(6): 21-25.
[22] 王梦珂, 王梦伟, 李蒙恩, 等. 基于 AHP-熵权法的白附子有效成分与颜色值的相关性研究[J]. 中华中医药学刊, 2022, 40(12): 125-131, I0048.
[23] 薛淑娟, 车奇涛, 陈随清. 基于“成分-颜色”关联分析地黄药材的质量及体外活性评价[J]. 时珍国医国药, 2023, 34(11): 2791-2796.
[24] 解杨, 钟凌云, 薛晓, 等. 基于多指标-响应曲面法优选炙地黄炮制工艺及成分与色泽相关性分析[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(18): 4927-4937.
[25] 肖小河, 李寒冰, 赵旭, 等. 新形势下的中药大质量观及实践[J]. 中草药, 2025, 56(1): 1-8.
[26] 刘燎原, 纪玉华, 王文丽, 等. 熟地黄蒸制过程特征图谱和颜色变化研究及炮制工艺优选[J]. 南京中医药大学学报, 2023, 39(8): 764-774.

基于色度与黏度变化的九蒸九制地黄内在质量的相关性分析及炮制终点研究

（正文见 81－87 页）

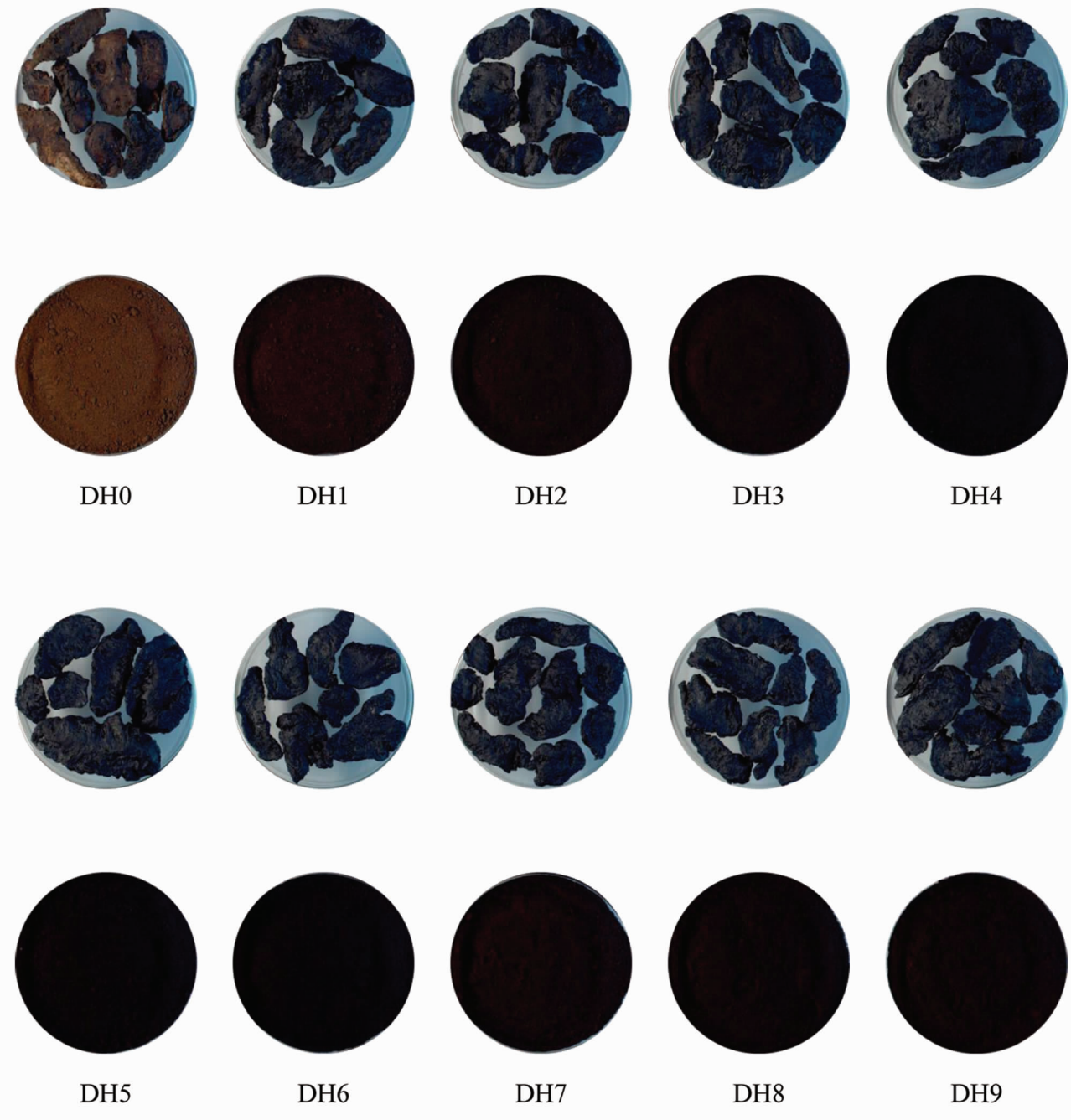
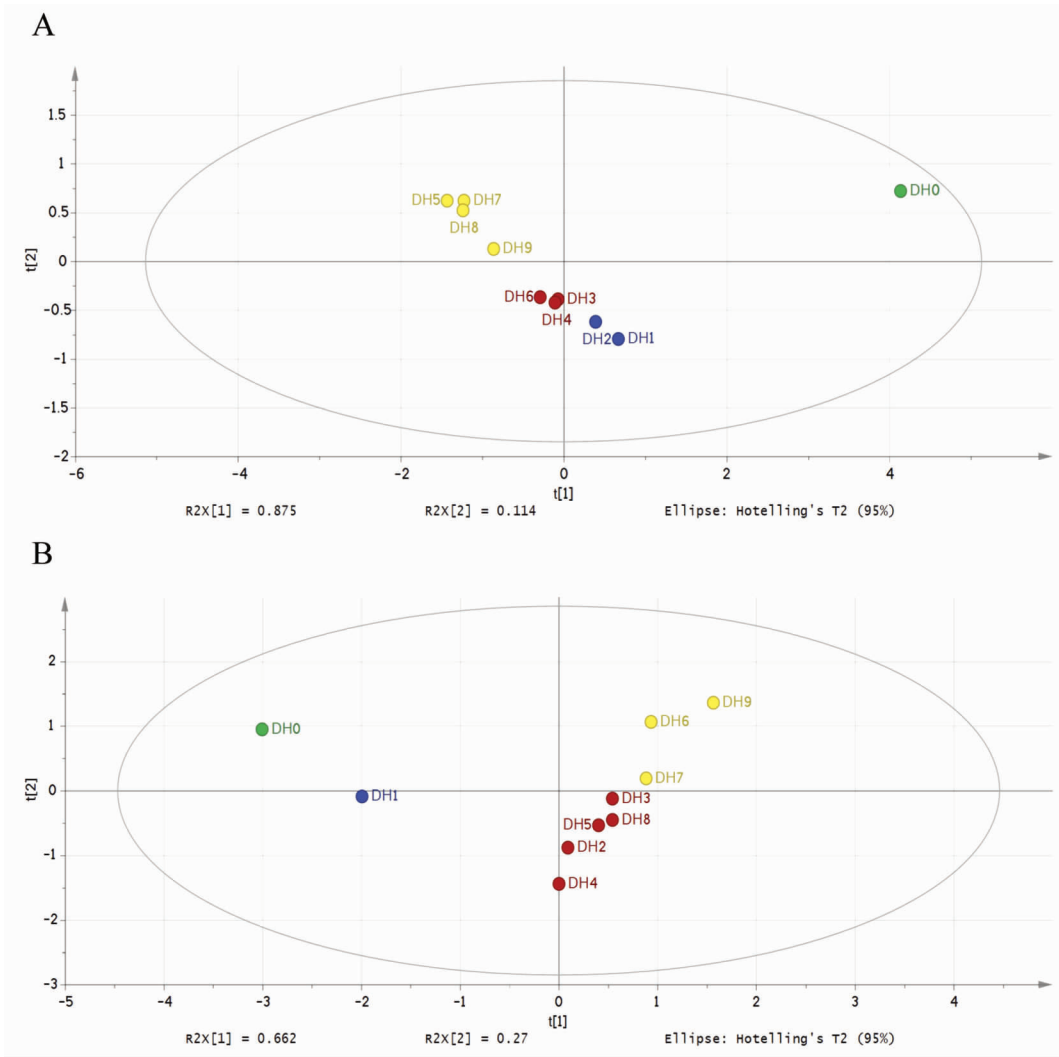
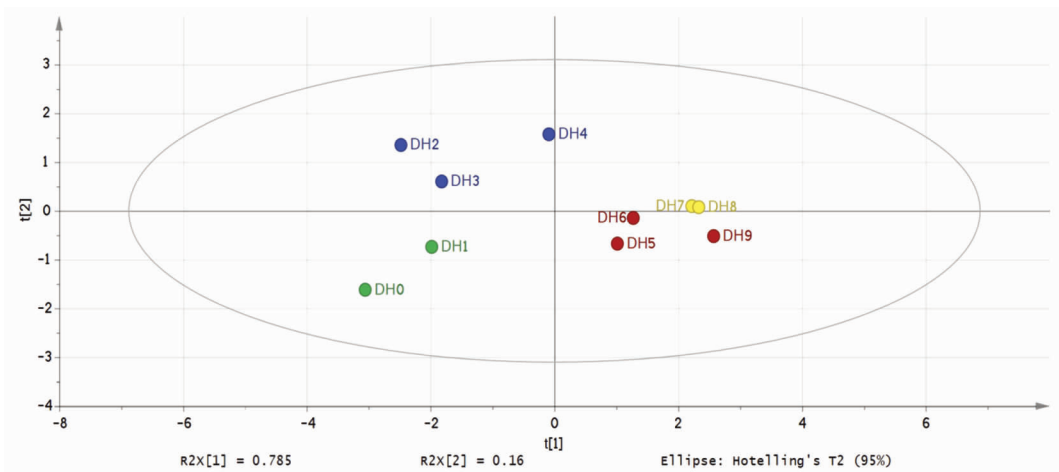


图 1　地黄生品及不同蒸制次数饮片、粉末薄层扫描图片



注：DH0 表示为地黄生品，DH1～DH9 分别表示为地黄一至九制炮制品。不同颜色表示为不同的样本聚类。

图 3 地黄样品饮片（A）、粉末（B）色度值 PCA 分析



注：DH0 表示为地黄生品，DH1～DH9 分别表示为地黄一至九制炮制品。不同颜色表示为不同的样本聚类。

图 4 地黄样品化学成分 PCA 分析